

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-232234

(P2000-232234A)

(43)公開日 平成12年8月22日(2000.8.22)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テ-マ-ト*(参考)

H 0 1 L 31/107
31/04

H 0 1 L 31/10
31/04

B 5 F 0 4 9
M 5 F 0 5 1

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平11-34453

(22)出願日

平成11年2月12日(1999.2.12)

(71)出願人 000000941

鐘淵化学工業株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目2番4号

(72)発明者 多和田 裕子

兵庫県明石市西明石北町3丁目3-26-201

(72)発明者 山本 憲治

兵庫県神戸市西区美賀多台1丁目2-W 1406

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

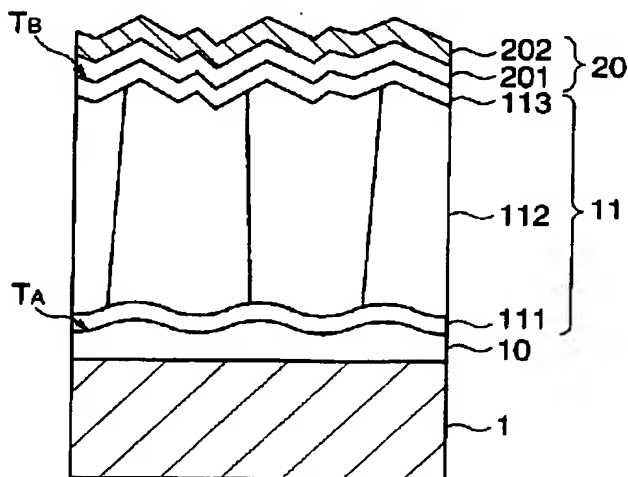
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 シリコン系薄膜光電変換装置

(57)【要約】

【課題】 開放端電圧の低下や生産歩留りの低下を招くことなく、光閉じ込め効果による光電変換特性が改善されたシリコン系薄膜光電変換装置を提供する。

【解決手段】 基板(1)上に順次積層された透明電極(10)と、一導電型層(111)、結晶質シリコン系光電変換層(112)および逆導電型層(113)を含む光電変換ユニット(11)と、光反射性金属電極(202)とを有するシリコン系薄膜光電変換装置であって、透明電極(10)は表面凹凸構造をなし、凹凸の高低差が10~100nmであり、凹凸のピッチが凹凸の高低差より大きくかつその2.5倍以下である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に順次積層された透明電極と、一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットと、光反射性金属電極とを具備したシリコン系薄膜光電変換装置において、前記透明電極は表面凹凸構造を有し、前記凹凸の高低差が10～100nmであり、前記凹凸のピッチが前記凹凸の高低差より大きくかつその2.5倍以下であることを特徴とするシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項2】 前記凹凸のピッチが前記凹凸の高低差の4倍以上20倍以下であることを特徴とする請求項1記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項3】 前記凹凸のピッチが300～1000nmであることを特徴とする請求項1または2記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項4】 前記透明電極表面の凹凸の断面形状は実質的に鋭角的な突起を含まない曲線であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項5】 前記結晶質シリコン系光電変換層は、下地温度を400℃以下に設定して形成されたものであって、80%以上の体積結晶化分率と、1～30原子%の水素含有量と、0.5～20μmの厚さと、膜面に平行な(110)の優先結晶配向面を有し、X線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比が0.2以下であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれか記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項6】 前記一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットに加えて、一導電型層、非晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットが積層されたタンデム型であることを特徴とする請求項1ないし5のいずれか記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明はシリコン系薄膜光電変換装置に関し、特にその低コスト化と性能改善に関する。なお、本願明細書において、「結晶質」および「微結晶」の用語は、部分的に非晶質を含む場合をも意味するものとする。

【0002】

【従来の技術】近年、たとえば多結晶シリコンや微結晶シリコンのような結晶質シリコンを含む薄膜を利用した光電変換装置の開発が精力的に行なわれている。これらの光電変換装置の開発では、安価な基板上に低温プロセスで良質の結晶質シリコン薄膜を形成することによる低コスト化と高性能化の両立が目的となっている。こうした光電変換装置は、太陽電池、光センサなど、さまざまな用途への応用が期待されている。

【0003】光電変換装置の一例として、基板上に、透明電極と、一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットと、光反射性金属電極とを順次積層した構造を有するものが知られている。この光電変換装置では、光電変換層が薄いと光吸収係数が小さい長波長領域の光が十分に吸収されないため、光電変換量は本質的に光電変換層の膜厚によって制約を受ける。そこで、光電変換層を含む光電変換ユニットに入射した光をより有効に利用するために、光入射側の透明電極に表面凹凸（表面テクスチャ）構造を設けて光を光電変換ユニット内へ散乱させ、さらに金属電極で反射した光を乱反射させる工夫がなされている。上記のように表面テクスチャ構造をなす透明電極を具備した光電変換装置は、たとえば特公平6-12840号公報、特開平7-283432号公報などに開示されており、効率が向上することが記載されている。

【0004】一方、透明電極上に形成される光電変換ユニットは光電変換層と導電型層とを有する。このうち導電型層はドーブされた不純物による光吸収のために光電変換層への入射光を減少させる。このような光電変換に寄与しない不純物による光吸収を低減して光電変換層への入射光を増大させるためには、導電型層の膜厚を必要最小限まで薄くすることが望まれる。

【0005】本発明者らは、以上のような設計要求に基づいて表面凹凸構造を有する透明電極上に光電変換ユニットを構成する薄い導電型層を形成した場合、導電型層に機械的・電氣的な欠陥が生じることがあり、最終的に得られる光電変換装置の開放端電圧の低下や短絡による歩留りの低下を招く問題があることを見出した。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、開放端電圧の低下や生産歩留りの低下を招くことなく光閉じ込め効果による光電変換特性が改善されたシリコン系薄膜光電変換装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、透明電極の光電変換ユニット側の面に形成される表面凹凸構造における凹凸の高低差とピッチを制御することによって、光電変換層における光吸収量を増大させ、かつ高い開放端電圧を有する高性能の薄膜光電変換装置が得られることを見出した。

【0008】すなわち、本発明のシリコン系薄膜光電変換装置は、基板上に順次積層された透明電極と、一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットと、光反射性金属電極とを具備したシリコン系薄膜光電変換装置において、前記透明電極は表面凹凸構造を有し、前記凹凸の高低差が10～100nmであり、前記凹凸のピッチが前記凹凸の高低差より大きくかつその2.5倍以下であることを特徴とする。

【0009】本発明の光電変換装置において、透明電極

は500～1200nmの波長の光に対して80%以上の高い透過率を有することが好ましい。

【0010】ここで、透明電極の表面の凹凸の高低差とは凸部と凹部の高さの差の平均値であり、ピッチとはおよそ0.1～5μm周期で現れる、隣接する凸部と凸部または凹部と凹部の間の距離の平均値を表わしている。上述したように本発明においては、凹凸の高低差が10～100nmであり、凹凸のピッチが凹凸の高低差より大きくかつその25倍以下である。凹凸のピッチは凹凸の高低差の4倍以上20倍以下であることがより好ましい。具体的には、凹凸のピッチが300～1000nmであることが好ましい。また、透明電極表面の凹凸の断面形状は実質的に鋭角的な突起を含まない曲線であることが好ましい。

【0011】光電変換ユニットに含まれる半導体接合を構成するすべての半導体層（一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層）は、プラズマCVD法により、下地温度400℃以下の低温で形成される。このうち結晶質シリコン系光電変換層は、80%以上の体積結晶化分率と、1～30原子%の水素含有量と、0.5～20μmの厚さと、膜面に平行な（110）の優先結晶配向面を有し、X線回折における（220）回折ピークに対する（111）回折ピークの強度比が0.2以下であることが好ましい。

【0012】本発明に係るシリコン系光電変換装置は、一導電型層、結晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットに加えて、一導電型層、非晶質シリコン系光電変換層および逆導電型層を含む光電変換ユニットが積層されたタンデム型であってもよい。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明をより詳細に説明する。

【0014】図1に示す断面図を参照して、本発明に係るシリコン系薄膜光電変換装置の一例を説明する。このシリコン系薄膜光電変換装置は、基板1上に、透明電極10と、一導電型層111、結晶質シリコン系光電変換層112および逆導電型層113を含む光電変換ユニット11と、透明導電性酸化膜201および光反射性金属電極202を含む複合電極20とを順次積層した構造を有する。この光電変換装置に対しては、光電変換されるべき光hνは基板1側から入射される。

【0015】基板1としては、ステンレスなどの金属、有機フィルム、セラミックス、または低融点の安価なガラスなどを用いることができる。

【0016】基板1上に配置される透明電極10の材料としては、ITO、SnO₂およびZnOから選択される1以上の層を含む透明導電性酸化膜が用いられる。これらの材料のうち、透過率、導電率および化学安定性の観点からはSnO₂が特に好適であり、加工性、導電率および透過率の観点からはITOも好適である。透明電

極は真空蒸着、熱CVDまたはスパッタなどの方法によって基板1上に形成される。

【0017】ここで、透明電極10の表面凹凸構造において、凹凸の高低差が凹凸のピッチに対して大きすぎると凹部と凸部との間の角度が鋭くなり、その上に堆積されるシリコン系光電変換ユニットの半導体接合が良好に形成されず、最終的に得られる光電変換装置の開放端電圧や製造歩留りの低下を招く。たとえば、特公平6-12840号公報には透明電極表面の凹凸の高低差が100nm以上であることが記載されているが、この場合のように透明電極の凹凸構造が急峻であると、最終的に得られる光電変換装置の開放端電圧や製造歩留りはそれほど向上しない。

【0018】このことから透明電極10の表面凹凸構造における凹凸の高低差と凹凸のピッチに最適値が存在することがわかる。すなわち、凹凸の高低差に対して十分な間隔のピッチを与えて凹部と凸部との間の角度を緩やかにして、凹凸の断面形状を実質的に鋭角的な突起を含まない（変曲点をもたない）曲線状にすると、開放端電圧の低下や製造歩留りの低下を伴うことなく、光閉じ込め効果を改善して高性能の光電変換装置を得ることができる。

【0019】本発明においては、透明電極10表面の凹凸の高低差は10～100nmが好ましく、さらに20～60nmがより好ましい。また、凹凸のピッチは凹凸の高低差より大きくかつその25倍以下であることが好ましく、さらに凹凸のピッチは凹凸の高低差の4倍以上20倍以下であることがより好ましい。具体的には、凹凸のピッチは300～1000nmが好ましく、さらに550～800nmがより好ましい。上記のような表面凹凸構造は、透明電極10の断面TEM（透過型電子顕微鏡）写真の画像処理や、AFM（原子間力顕微鏡）による表面観察および表面形状測定によっても決定することができる。

【0020】上述した本発明に係る透明電極10の表面凹凸構造は、種々の方法により形成することができる。例えば、基板1の表面にエッチングなどにより凹凸構造を形成し、その上に薄い透明電極10を形成して、透明電極10の表面を基板1の凹凸構造に沿った凹凸構造にする方法が挙げられる。

【0021】また、基板1上に急峻な凹凸表面を有する透明電極層を堆積した後に、エッチングなどにより所望の緩やかな凹凸構造に加工する方法を用いてもよい。たとえば、まず下地基板1の温度を約350℃以上、好ましくは約450～550℃に設定し、SnCl₄、O₂、CH₃OH、HF、H₂Oなどを原料として常圧熱CVDによりSnO₂からなる透明電極10を形成する。SnO₂の場合、常圧熱CVD時に基板温度や各原料の導入量を変化させることによって表面の凹凸構造をある程度調整することができる。さらに、SnO₂上にZnを

蒸着した後、HClなどを用いてエッチングすることにより、所望の緩やかな凹凸構造を得ることができる。この際、Zn蒸着量を変えてエッチング量を変化させることにより、凹凸構造を調整することができる。

【0022】さらに、透明電極10をSnO₂からなる下層とSnO₂またはZnOからなる上層との二層構造とすることによっても、表面を緩やかな凹凸構造にすることができる。なお、結果的に所望の凹凸形状が得られるならば、上記方法に制限されるものではない。

【0023】透明電極10上にシリコン系光電変換ユニット11が形成される。この光電変換ユニット11に含まれるすべての半導体層は、下地温度を400℃以下に設定してプラズマCVD法によって堆積される。プラズマCVD法としては、一般によく知られている平行平板型のRFプラズマCVDを用いてもよいし、周波数150MHz以下のRF帯からVHF帯までの高周波電源を利用するプラズマCVD法を用いてもよい。

【0024】光電変換ユニット11には一導電型層111、結晶質シリコン系光電変換層112および逆導電型層113が含まれる。一導電型層111はp型層でもn型層でもよく、これに対応して逆導電型層113はn型層またはp型層になる。ただし、光電変換装置では通常は光の入射側にp型層が配置されるので、図1の構造では一般的に一導電型層111はp型層、逆導電型層113はn型層である。

【0025】一導電型層111は、たとえば導電型決定不純物原子（キャリア）としてボロンをドーピングしたp型シリコン系薄膜からなる。ただし、不純物原子は特に限定されず、p型層の場合にはアルミニウムなどでもよい。また、一導電型層111の半導体材料としては、非晶質シリコン、非晶質シリコンカーバイドや非晶質シリコンゲルマニウム等の合金材料、多結晶シリコンもしくは部分的に非晶質を含む微結晶シリコンまたはその合金材料を用いることもできる。なお、必要に応じて、堆積された一導電型層111にパルスレーザ光を照射（レーザアニール）することにより、結晶化分率やキャリア濃度を制御することもできる。

【0026】一導電型層111上に結晶質シリコン系光電変換層112が堆積される。この結晶質シリコン系光電変換層112としては、体積結晶化分率が80%以上である、ノンドーピング（真正半導体）の多結晶シリコン膜もしくは微結晶シリコン膜または微量の不純物を含む弱p型もしくは弱n型で光電変換機能を十分に備えたシリコン系薄膜材料を用いることができる。この光電変換層112を構成する半導体材料についても、上記の材料に限定されず、シリコンカーバイドやシリコンゲルマニウムなどの合金材料を用いることができる。光電変換層112の厚さは、必要かつ十分な光電変換が可能のように、一般的に0.5～20μmの範囲に形成される。この結晶質シリコン系光電変換層112は400℃以下の

低温で形成されるので、結晶粒界や粒内における欠陥を終端させて不活性化させる水素原子を多く含む。具体的には、光電変換層112の水素含有量は1～30原子%の範囲内にある。さらに、結晶質シリコン系薄膜光電変換層112に含まれる結晶粒の多くは下地層から上方に柱状に延びて成長しており、その膜面に平行に（110）の優先結晶配向面を有する。そして、X線回折における（220）回折ピークに対する（111）回折ピークの強度比は0.2以下である。

【0027】結晶質シリコン系光電変換層112上には逆導電型層113が形成される。この逆導電型層113は、たとえば導電型決定不純物原子（キャリア）としてリンがドーピングされたn型シリコン系薄膜からなる。ただし、不純物原子は特に限定されず、n型層では窒素などでもよい。また、逆導電型層113の半導体材料としては、非晶質シリコン、非晶質シリコンカーバイドや非晶質シリコンゲルマニウム等の合金材料、多結晶シリコンもしくは部分的に非晶質を含む微結晶シリコンまたはその合金材料を用いることもできる。

【0028】ここで、透明電極10の表面が実質的に平坦である場合でも、その上に堆積される光電変換ユニット11の表面T_Bは微細な凹凸を含む表面テクスチャ構造を示す。また、透明電極10の表面T_Aが凹凸を含む表面テクスチャ構造を有する場合、光電変換ユニット11の表面T_Bは、透明電極10の表面T_Aに比べて、テクスチャ構造における凹凸のピッチが小さくなる。これは、光電変換ユニット11を構成する結晶質シリコン系光電変換層112の堆積時に結晶配向に基づいてテクスチャ構造が生じることによる。このため光電変換ユニット11の表面T_Bは広範囲の波長領域の光を反射させるのに適した微細な表面凹凸テクスチャ構造となり、光電変換装置における光閉じ込め効果も大きくなる。

【0029】光電変換ユニット11上には透明導電性酸化膜201と光反射性金属電極202とを含む複合電極20が形成される。透明導電性酸化膜201は、必要に応じて形成されるが、光電変換ユニット11と光反射性金属電極202との付着性を高め、光反射性金属電極202の反射効率を高め、光電変換ユニット11を化学変化から防止する機能を有する。

【0030】透明導電性酸化膜201は、ITO、SnO₂、ZnOなどから選択される少なくとも1種で形成することが好ましく、ZnOを主成分とする膜が特に好ましい。光電変換ユニット11に隣接する透明導電性酸化膜201の平均結晶粒径は100nm以上であることが好ましい。この条件を満たすためには、下地温度を100～450℃に設定して透明導電性酸化膜201を形成することが望ましい。なお、ZnOを主成分とする透明導電性酸化膜201の膜厚は50nm～1μmであることが好ましく、比抵抗は1.5×10⁻³Ωcm以下であることが好ましい。

【0031】光反射性金属電極202は真空蒸着またはスパッタなどの方法によって形成することができる。光反射性金属電極202は、Ag、Au、Al、CuおよびPtから選択される1種、またはこれらを含む合金で形成することが好ましい。たとえば、光反射性の高いAgを100～330℃、より好ましくは200～300℃の温度で真空蒸着によって形成することが好ましい。

【0032】次に、図2に示す断面図を参照して、本発明に係るタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を説明する。このタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置は、基板1上に、透明電極10と、微結晶または非晶質シリコン系の一導電型層311、実質的に真正半導体である非晶質シリコン系光電変換層312および微結晶または非晶質シリコン系の逆導電型層313を含む前方光電変換ユニット31と、図1の光電変換ユニット11に対応する一導電型層321、結晶質シリコン系光電変換層322および逆導電型層323を含む後方光電変換ユニット32と、透明導電性酸化膜201および光反射性金属電極202を含む複合電極20とを順次積層した構造を有する。前方光電変換ユニット31および後方光電変換ユニット32を構成する各層は、いずれもプラズマCVD法により形成される。

【0033】

【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。

【0034】（実施例1）以下のようにして図1に示すシリコン系薄膜光電変換装置を作製した。まずガラス基板1上に透明電極10として厚さ800nmのSnO₂を形成した。このSnO₂は基板温度を450℃に設定し、SnCl₄の塩酸10%水溶液を原料として常圧熱CVDにより形成した。このSnO₂の上にZnを真空蒸着した後、希塩酸溶液でエッチングして、表面凹凸テクスチャーを調整した。エッチング前の表面凹凸（従来技術に相当する）を観察したAFM画像を図3、エッチング後の表面凹凸を観察したAFM画像を図4にそれぞれ示す。図3と図4との比較から、エッチング前よりもエッチング後の方が、凹凸の高さが低く、かつ凹凸のピッチが広がっていることがわかる。

【0035】次に、プラズマCVD法により光電変換ユニット11を構成する一導電型層（p型層）111、ノンドープの結晶質シリコン系光電変換層112および逆導電型層（n型層）113を形成した。ノンドープの結晶質シリコン系光電変換層112は下地温度を300℃に設定してRFプラズマCVD法により1.5μmの厚さに堆積した。この結晶質シリコン系光電変換層112について、2次イオン質量分析法によって求めた水素含有量は2.3原子%であり、X線回折における（220）回折ピークに対する（111）回折ピークの強度比は0.081であった。

【0036】次いで、複合電極20として、ZnOからなる透明導電性酸化膜201およびAgからなる光反射性金属電極202を形成した。透明導電性酸化膜201となるZnOはスパッタ法により100nmの厚さに形成した。光反射性金属電極202となるAgは真空蒸着により300nmの厚さに形成した。

【0037】得られた光電変換装置にAM1.5の光を100mW/cm²の光量で入射して出力特性を測定したところ、開放端電圧が0.540V、短絡電流密度が24.6mA/cm²、曲線因子が72.5%、変換効率が9.63%であった。

【0038】（実施例2～5および比較例1～2）SnO₂からなる透明電極10の形成時の下地温度および原料濃度の変化、膜形成後のエッチングの有無、およびZn蒸着量の変更によるエッチング量の変化などにより、透明電極10の表面凹凸構造の形状パラメータを様々な調整した。これ以外は実施例1と同じ方法および条件を用いてシリコン系薄膜光電変換装置を作製した。

【0039】SnO₂からなる透明電極10の表面凹凸構造における凹凸の高低差、ピッチおよびピッチ／高低差と、光電変換装置の光電変換特性を表1にまとめて示す。なお、表1には実施例1の結果も併せて示している。

【0040】

【表1】

	SnO ₂ 膜 凹凸高低差 (nm)	SnO ₂ 膜 凹凸ピッチ (nm)	ピッチ 高低差	開放端 電圧 (V)	短絡 電流密度 (mA/cm ²)	曲線 因子 (%)	変換 効率 (%)
実施例1	38	650	17.1	0.540	24.6	72.5	9.63
実施例2	77	650	8.4	0.502	25.1	72.2	9.10
実施例3	28	650	23.2	0.522	23.0	73.2	8.79
実施例4	36	450	12.5	0.525	23.5	73.3	9.04
実施例5	56	430	7.7	0.511	25.5	71.2	9.28
比較例1	130	95	0.7	0.458	22.8	71.1	7.42
比較例2	25	750	30.0	0.499	20.1	72.3	7.25

【0041】表1からわかるように、SnO₂からなる透明電極10の表面凹凸におけるピッチ／高低差の比率

が小さい（表面の凹凸が急峻な）と、変換効率が高くなる傾向があり、光閉じ込め効果が高まっているといえ

る。

【0042】表1に示されるように、開放端電圧は、透明電極10の表面凹凸におけるピッチ／高低差の比率が約10以上のときに比較的高い値になっている。

【0043】比較例1と比較例2には、それぞれ透明電極10の表面凹凸におけるピッチ／高低差の比率が極端に小さな場合と大きい場合を示している。このうち比較例2は表面凹凸がより緩やかであり、それに対応して高い開放端電圧値を示している。ただし、表1の変換効率および分光感度特性の測定結果（図示せず）から、比較例2の方が比較例1に比べて光閉じ込め効果が低下することが判明している。また、比較例1のように表面凹凸が非常に急峻な場合にも、実施例よりも光閉じ込め効果が低くなっている。

【0044】以上のように、透明電極10は光電変換ユニット11内に光を閉じ込めるために表面凹凸構造を有することが望まれる。しかし、その凹凸の高低差が大きすぎて凹部と凸部の角度が急峻になると、その上に形成される光電変換ユニット11の半導体接合が良好に形成されず、光電変換装置の開放端電圧や製造歩留りの低下を招く。したがって、透明電極10の表面凹凸構造の形状パラメータには適切な範囲が存在することがわかる。すなわち、透明電極10の表面凹凸構造は、凹凸の高低差が10～100nmであり、凹凸のピッチ／高低差の比率が1～25倍、さらに4～20倍であることが好ましく、凹凸のピッチが300～1000nmであり、凹凸の断面形状は実質的に鋭角的な突起を含まない曲線であることが好ましい。

【0045】（実施例6）図2に示すタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を作製した。まずガラス基板1上に SnO_2 からなる透明電極10を形成した。この透明電極10上に、一導電型層（p型層）311、実質的に真正半導体である非晶質シリコン系光電変換層312および逆導電型層（n型層）313を含む前方光電変換ユニット31を形成した。非晶質光電変換層312は300nmの厚さに形成した。この前方光電変換ユニット31上に、一導電型層（p型層）321、結晶質シリコン系光電変換層322および逆導電型層（n型層）323

を含む後方光電変換ユニット32を形成した。結晶質シリコン系光電変換層322は3.0 μm の厚さに形成した。この後方光電変換ユニット32上に、透明導電性酸化膜201および光反射性金属電極202を含む複合電極20を形成した。

【0046】このような非晶質／結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置に対してAM1.5の光を100mW/cm²の光量で入射して出力特性を測定したところ、開放端電圧が1.415V、短絡電流密度が12.9mA/cm²、曲線因子が76.4%、変換効率が13.95%であった。

【0047】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、高い光閉じ込め効果と高い開放端電圧を兼ね備えたシリコン系薄膜光電変換装置を提供することができ、シリコン系薄膜光電変換装置の低コスト化と高性能化に大きく貢献できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る結晶質シリコン系薄膜光電変換装置の断面図。

【図2】本発明に係る非晶質／結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置の断面図。

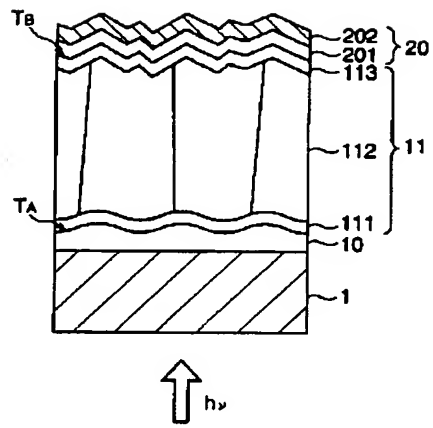
【図3】ディスプレイ上に表示されたエッチング前の透明電極のAFM画像の写真。

【図4】ディスプレイ上に表示されたエッチング後の透明電極のAFM画像の写真。

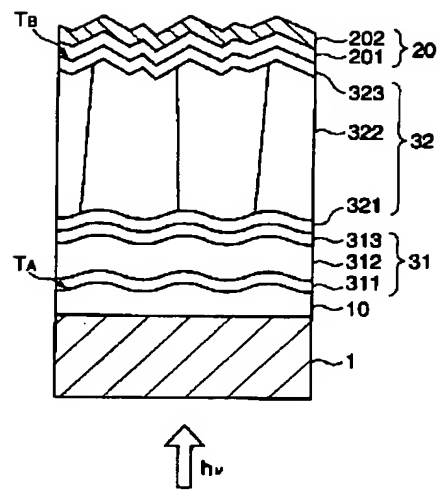
【符号の説明】

- 1…基板
- 10…透明電極
- 11…光電変換ユニット、111…一導電型層、112…結晶質シリコン系光電変換層、113…逆導電型層
- 20…複合電極、201…透明導電性酸化膜、202…光反射性金属電極
- 31…前方光電変換ユニット、311…一導電型層、312…非晶質シリコン系光電変換層、313…逆導電型層
- 32…光電変換ユニット、321…一導電型層、322…結晶質シリコン系光電変換層、323…逆導電型層

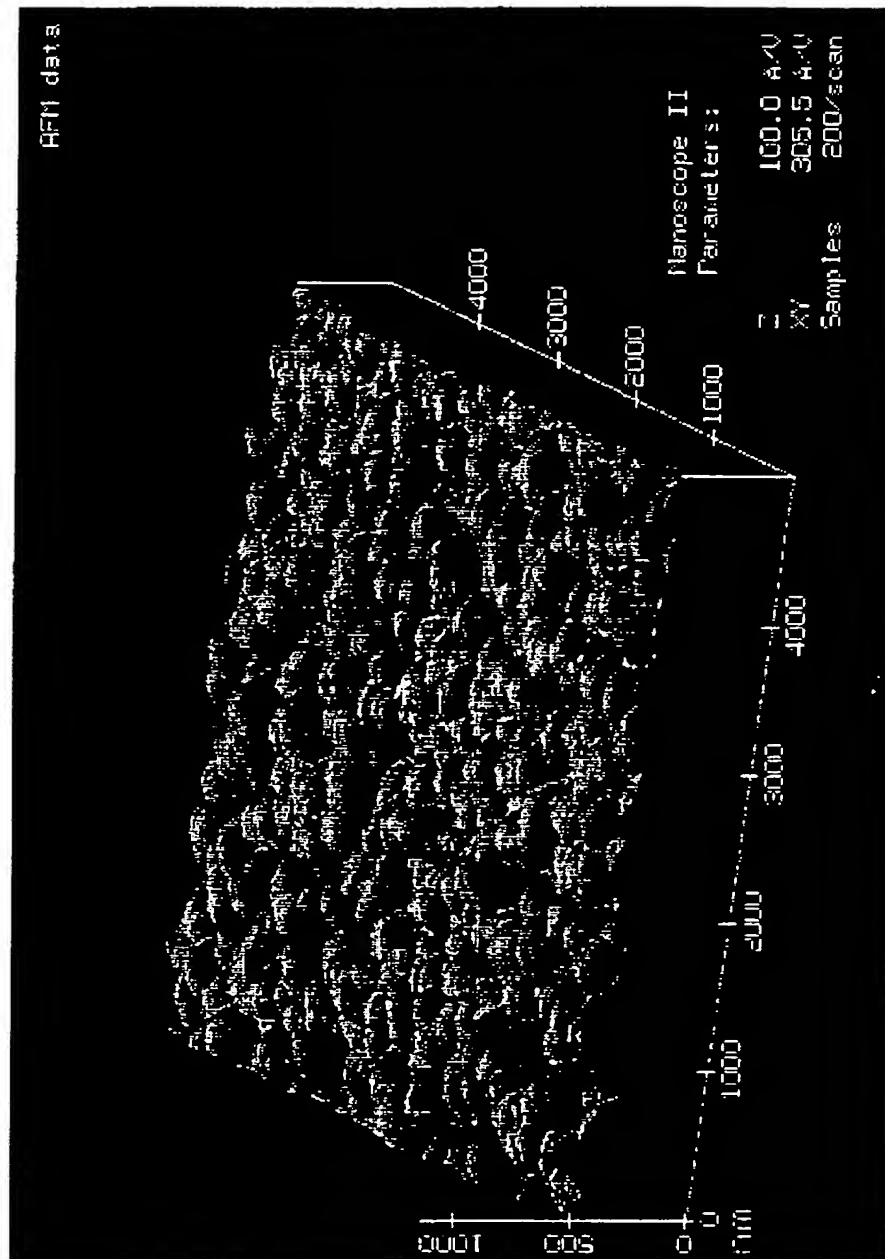
【図1】



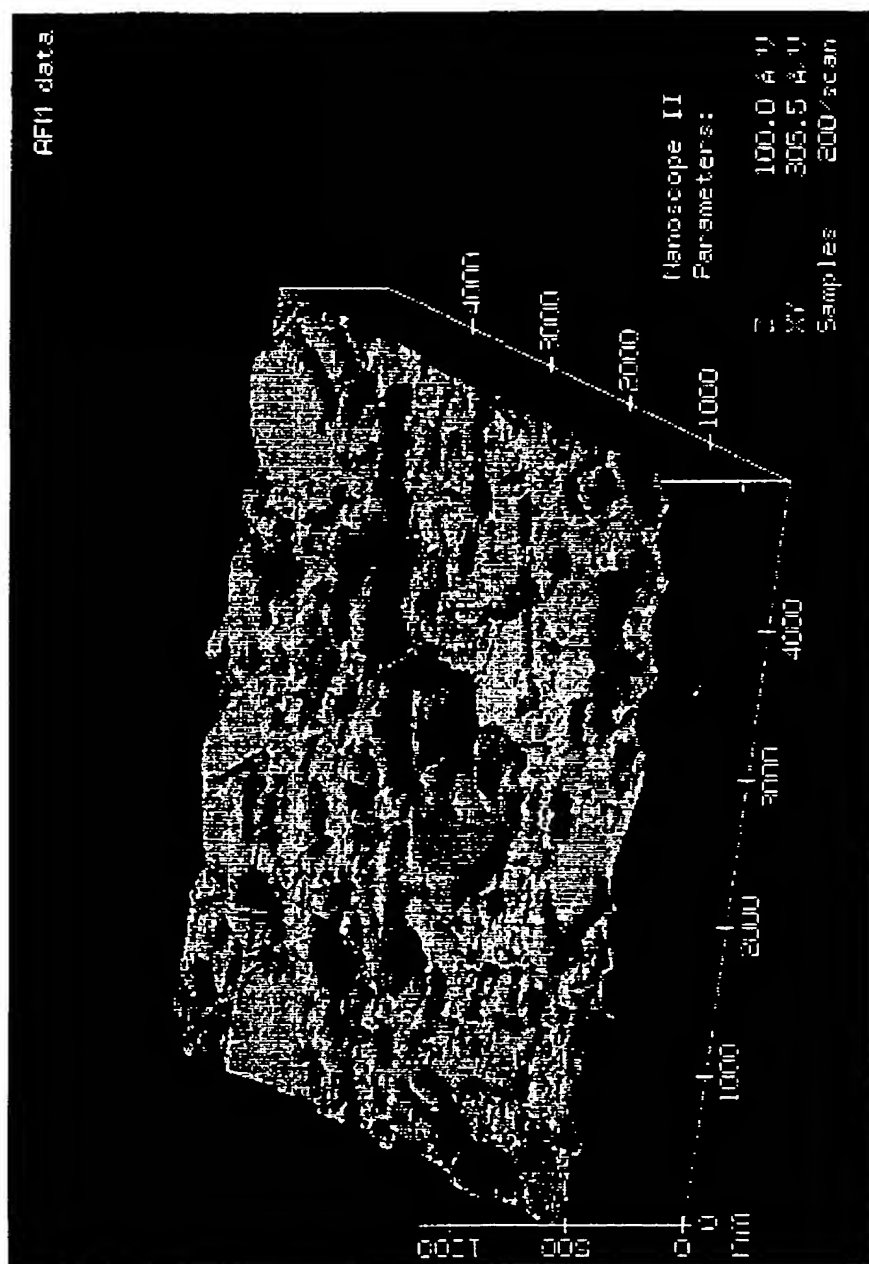
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F049 MB03 MB04 MB05 QA06 QA07
SE02 SE05 SE11 SE12 SE16
5F051 AA03 AA04 AA05 BA14 CB29
DA17 FA02 FA13 FA15 FA19
FA23

BEST AVAILABLE COPY